

William Gilberts Physik der Magnetkugeln

Kertz, Walter

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 34, 1982,
S.143-155



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

William Gilberts Physik der Magnetkugeln

Von **Walter Kertz**, Braunschweig

(Eingegangen am 27. 9. 1982)

Einleitung

Der englische Arzt William Gilbert veröffentlichte [1600] in London sein Buch „De Magnete“. Es ist das erste neuzeitliche Physikbuch. In den folgenden Jahrhunderten wurde es viel gelesen, häufig gerühmt und gelegentlich getadelt. Gerühmt wurde es vor allem wegen der darin beschriebenen, mit großer Sorgfalt ausgeführten Experimenten. Getadelt wurde es – wohl zuerst von Galilei (Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, 3. Tag) – weil es keine Mathematik enthalte. Auf den ersten Blick sieht es auch so aus; denn das ganze Buch enthält nicht eine Gleichung. Gilbert zeigt aber mit Worten und Bildern durchaus quantitative Zusammenhänge auf. Diese stimmen in etwa mit den Ergebnissen seiner Versuche überein. Gefolgert werden sie aber aus allgemeinen Überlegungen.

In der nach Gilbert entstandenen neuzeitlichen Physik bildeten derartige Überlegungen die „Theorie“. Im vorliegenden Aufsatz will ich diese theoretischen Betrachtungen Gilberts untersuchen, weil, wie mir scheint, dieser Aspekt von Gilberts Arbeit in der Literatur nicht angemessen beachtet wurde. Eines der Hauptstücke ist dabei das Nomogramm zur Bestimmung der Richtung des Magnetfeldes auf der Kugelfläche in V,8.*)

Schon Kepler hatte, wie man aus einem Brief vom 12. 1. 1603 an Herwart erfährt, Schwierigkeiten, dieses Nomogramm zu verstehen und war froh, den geometrischen Grund gewisser Teilstrecken zu erkennen [zitiert nach Balmer 1956, S. 414–415]. Zilsel bemerkte [1976, S. 231] in einer kritischen Arbeit über Gilberts Methoden lediglich, das Nomogramm beruhe auf inkorrekten Annahmen.

Ich beschränke mich auf Gilberts „theoretische“ Überlegungen zu den Magnetkugeln. Das sind glatt geschliffene Kugeln aus Magnetstein. Sie waren Gilberts am gründlichsten untersuchtes Studienobjekt. Mit ihrer Hilfe wollte er die „wahren Grundlagen der Physik der Erde“ (I,17) studieren. Die Magnetkugel war dabei nicht nur Modell, sondern richtiggehender Ersatz für die Erde, darum nannte er sie Terrella, d. h. Erdlein.

Zunächst soll die im genannten Nomogramm enthaltene „Theorie“ herausgearbeitet und der damit gegebene Zusammenhang analytisch und numerisch be-

*) Gilberts Werk „De Magnete“ ist in 6 Bücher und jedes Buch in eine größere Anzahl von Kapiteln unterteilt. V,8 bedeutet: 5. Buch, 8. Kapitel.

stimmt werden. Damit gewinnt man für Beobachtungen auf der Kugeloberfläche die Inklination als Funktion der Breite (= Winkelabstand vom magnetischen Äquator). Dann werden Gilberts Überlegungen zur Abhängigkeit der Anziehung von der Breite rekapituliert und ein quantitatives Gesetz daraus bestimmt. Schließlich werden Gilberts Ansätze besprochen, mit denen er die Abnahme der Wirkung einer Magnetkugel mit dem Abstand von ihrem Mittelpunkt zu erfassen sucht. Dabei unterscheidet Gilbert zwischen dem Abstandsgesetz für die Anziehung und für die Drehung. Alle Ergebnisse von Gilberts „Theorie“ werden mit dem Dipolfeld verglichen, welches nach der heutigen Physik das Feld einer homogen magnetisierten Kugel im Außenraum exakt beschreibt.

1. Inklination als Funktion der Breite

Gilberts Versuche zeigten, daß sich kurze Magnetstäbchen immer einer inneren Regel gemäß an der Oberfläche einer Magnetkugel anordnen (Fig. 1). Den Neigungswinkel gegen die Kugeltangente (= Horizontale auf der Erde) nannte Gilbert Deklination, wir wollen ihn heutigem Sprachgebrauch entsprechend Inklination**) (Ab-

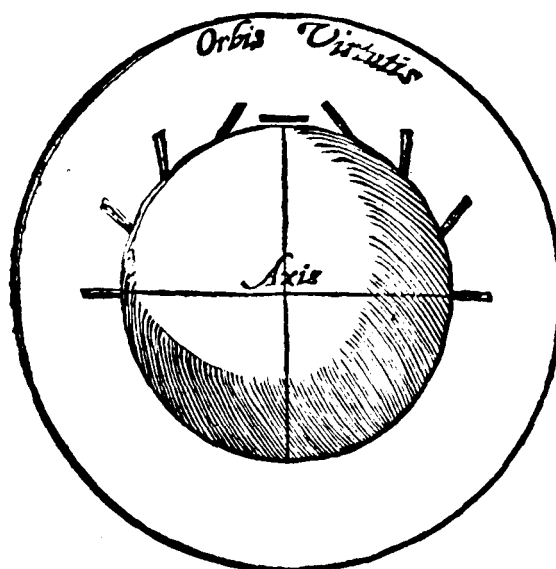


Fig. 1:

Magnetkugel mit kurzen Magnetstäben, die die Richtung des Feldes auf der Kugeloberfläche anzeigen. Die magnetische Achse der Kugel liegt waagrecht. Der Orbis Virtutis (siehe Abschnitt 3) begrenzt den Einfluß der Magnetkugel im Raum (De Magnete II,6 und V,2).

**) Deklination nennt man heutzutage die Abweichung von der geographischen Nordrichtung, Gilberts „Variation“.

kürzung I) nennen. Gilbert hoffte, mit Hilfe einer Inklinationsmessung die (geographische) Breite β bestimmen zu können „überall auf der Erde, ohne Hilfe himmlischer Körper wie Sonne, Planeten oder Fixsterne und auch bei nebligem Wetter und während der Dunkelheit“. Dazu mußte er I als Funktion von β kennen. Zur Bestimmung von $I(\beta)$ ist dem Buch ein Nomogramm mit einem ausschnidbaren Winkelmesser beigegeben (Fig. 2). Gilbert und seine Zeitgenossen hielten diese Methode der Breitenbestimmung für ungeheuer nützlich. Der Mathematiker Edward Wright († 1615) schrieb in einer Vorrede zu Gilberts Buch, es werde sich herausstellen, daß die Methode „keine geringe Summe Goldes wert sei“.

Fig. 3 enthält die Grundlagen zu Gilberts Überlegungen. B ist der magnetische Nord- und C der Südpol. A und F sind Punkte am magnetischen Äquator. In B zeigt eine Magnetnadel lotrecht nach unten, in A horizontal nach Norden. Unter 45° Breite, in L , zeigt die Nadel nach Gilberts Überzeugung genau zum Äquatorpunkt F . (Beim Dipolfeld ist dies nur näherungsweise erfüllt.) Bewegt sich ein Beobachter von

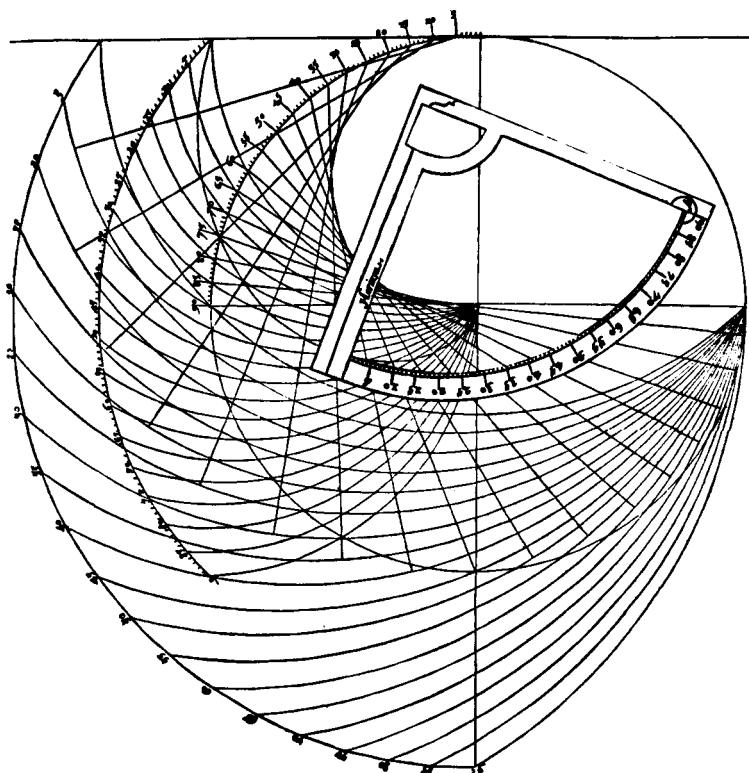


Fig. 2:

Gilberts Nomogramm zur Bestimmung der Inklination als Funktion der Breite (De Magnete V,7–8). Konstruktion und Gebrauch werden im Text erklärt.

A nach B, so dreht sich die Magnetnadel um 180° , aber mit ungleichmäßiger Winkelgeschwindigkeit, von A bis L schnell und von L bis B langsam. Gilberts Nomogramm ist so konstruiert, daß es in A, L und B die drei angegebenen Werte liefert.

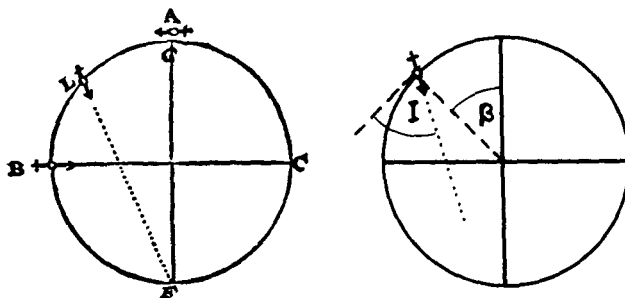


Fig. 3:

Links: Gilberts Ausgangswerte zur Herleitung des Zusammenhanges zwischen Inklination und Breite (De Magnete V, 6). **Rechts:** Heutige Bezeichnungsweise. I = Inklination, β = Breite.

Wichtige Hilfsmittel bei dieser Konstruktion sind die Rotations-Bögen (Fig. 4). Diese erfand Gilbert in Anlehnung an die Quadranten für die Inklination. Wir wollen deshalb mit diesen beginnen: in allen Punkten P zwischen A und B ist die Magnetnadel unter den Horizont geneigt. Die Neigungswinkel (= Inklination) liegen zwischen 0° und 90° . In Fig. 4 sind die möglichen Neigungen durch gestrichelte Viertelkreise (= Inklinations-Quadranten) angegeben. Sie gehen alle durch den Erdmittel-

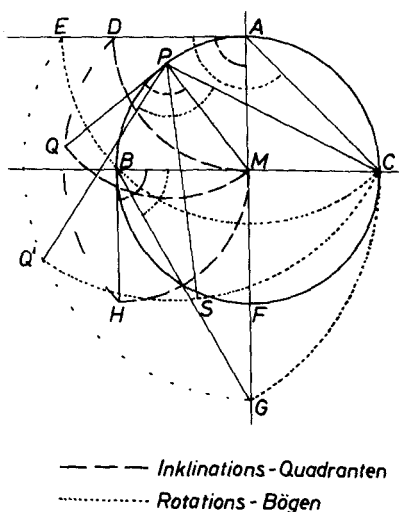


Fig. 4:

Zur Definition der Rotations-Bögen. B und C sind die Pole der Magnetkugel.

punkt M. Ihre Begrenzungspunkte liegen auf dem Kreisbogen DQH um M. Sein Radius ist $\sqrt{2}r$, wenn r = Kugelradius.

Die Inklinations-Quadranten umfassen die geometrischen Möglichkeiten. Die physikalische Möglichkeit sucht Gilbert mit seinen Rotations-Bögen anzugeben. Da er nicht schreibt, wie er auf seine Konstruktion gekommen ist, ist man auf Vermutungen angewiesen. Der folgende Gedankengang könnte zugrundeliegen: An mehreren Stellen seines Buches weist Gilbert (wie vor ihm schon Norman [1581]) darauf hin, daß die Anziehung nicht von einzelnen Polen, sondern von der ganzen Magnetkugel ausgehe, deshalb faßt Gilbert den Bereich $Q'C$ ins Auge, unter dem die Magnetnadel in B den Teil der Kugel „sieht“, den Gilbert als relevant für die Anziehung hält. $Q'C$ ist der Rotations-Bogen zu P. Mittelpunkt jedes Rotations-Bogens ist der jeweilige Beobachtungspunkt. Außerdem enden alle Rotations-Bögen im Gegenpol C. (Auf ihn zeigt die Nadel von B aus.) Die andere Grenze ist der Kreisbogen $E\widehat{Q}G$ um M. Sein Radius ($\sqrt{3}r$) ergibt sich aus dem Punkt E, der offensichtlich zu A gehört. Die Rotations-Bögen variieren zwischen 135° ($=\widehat{CE}$) und 60° ($=\widehat{CG}$).

Den Zielpunkt S auf dem Rotations-Bogen, auf den die Magnetnadel in P zeigt, bestimmt Gilbert, indem er ein der Breite β ($= \angle AMP$) proportionales Stück des Rotations-Bogens $Q'C$ von Q' aus abträgt. Dazu denkt er sich alle Rotations-Bögen in 90 gleiche Teile geteilt und vom Grenzkreis ausgehend beziffert. Dann findet man den Zielpunkt S, indem man auf dem zu P gehörenden Rotations-Bogen den Punkt sucht, dessen Ziffer gleich der Breite von P ist. Mit dem vom Nomogramm beigelegten, beweglichen Inklinations-Quadranten kann man schließlich die Inklination messen.

Um den von Gilbert vermuteten Zusammenhang zwischen I und β exakt bestimmen zu können, soll die graphische Konstruktion analytisch erfaßt werden. Dazu dient Fig. 5. Zur Vereinfachung der Formeln führen wir statt der Breite β vorübergehend

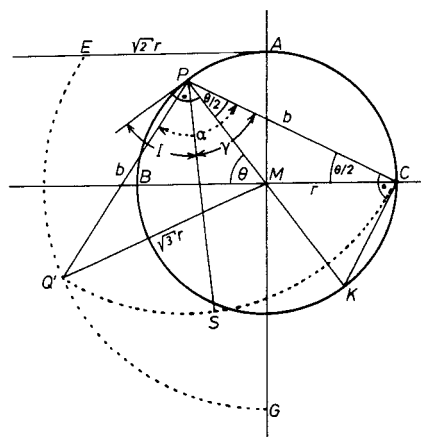


Fig. 5:
Zur analytischen Erfassung der Gilbertschen Konstruktion.

die Poldistanz $\theta = \sphericalangle \text{BMP} = 90^\circ - \beta$ ein. $\sphericalangle \text{MCP} = \theta/2$ als Umfangswinkel über dem gleichen Bogen und auch gleich dem $\sphericalangle \text{MPC}$. Das ΔPKC ist rechtwinklig (Thales-Kreis), also ergibt sich für den Radius b des Rotations-Bogens

$$b = 2 r \cos \frac{\theta}{2}$$

Für das $\Delta \text{Q'MP}$ erhält man aus dem cos-Satz

$$\begin{aligned} 3 r^2 &= b^2 + r^2 - 2 b r \cos \left(\alpha - \frac{\theta}{2} \right) \\ &= 4 r^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} + r^2 - 4 r^2 \cos \frac{\theta}{2} \cos \left(\alpha - \frac{\theta}{2} \right) \end{aligned}$$

Also

$$\cos \left(\alpha - \frac{\theta}{2} \right) = \frac{\cos^2 \frac{\theta}{2} - \frac{1}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} \quad (1)$$

Hieraus kann man $\alpha(\theta)$ bestimmen. Macht man jetzt den Bogen $\widehat{\text{Q'S}}$ entsprechend Gilberts Vorschrift gleich $\kappa \alpha$ mit $\kappa = \beta/90^\circ$, so gilt

$$\gamma = \widehat{\text{SC}} = \alpha - \kappa \alpha = (1 - \kappa) \alpha = \frac{90^\circ - \beta}{90^\circ} \alpha = \frac{\theta \cdot \alpha}{90^\circ}$$

Weil

$$I + \gamma = 90^\circ + \frac{\theta}{2}$$

wird

$$I = 90^\circ + \frac{\theta \cdot \alpha}{90^\circ} + \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

Nach (1) und (2) sind die Werte der Tabelle und der Fig. 6 berechnet.

In Fig. 6 sind die nach Gilberts Konstruktion gefundenen Werte der Inklination zusammen mit den für das Dipolfeld errechneten „richtigen“ Werten eingetragen. Die Abweichungen zwischen beiden Kurven sind kleiner als 5° in der Inklination und 7° in der Breite. Gilbert hat als erster versucht, den Zusammenhang zwischen I und β quantitativ zu erfassen. Seine „Theorie“ ergibt im großen und ganzen den richtigen Verlauf. Für eine magnetische Breitenbestimmung auf der Erde allerdings wäre ein Fehler von 7° unerträglich.

Die Nachfolger Gilberts bauten seine Methode noch weiter aus. So berichtet S.P. Thomson [1900, S. 59–60; 62–63], daß Henry Briggs (1561 bis 1630) nach Gilberts Vorschrift eine Tabelle für $I(\beta)$ berechnete. Athanasius Kircher beschrieb [1654, S. 300–303] die graphische Methode wesentlich ausführlicher, als Gilbert es getan hatte, und gab eine numerische Rechnung für $\beta = 60^\circ$, deren Ergebnis exakt mit dem von mir berechneten Wert übereinstimmt. Seine Tabelle für $I(\beta)$ weicht aber von meinen Werten für nahezu alle Breiten um ein bis zwei Grad ab, seltsamerweise stimmt auch der Wert für $\beta = 60^\circ$ nicht mit dem zuvor berechneten überein.

Die Inklination wurde zwar nicht von Gilbert, sondern von Robert Norman [1581] entdeckt, sie war aber Gilberts Lieblingselement. Aus ihr schloß er auch darauf, daß

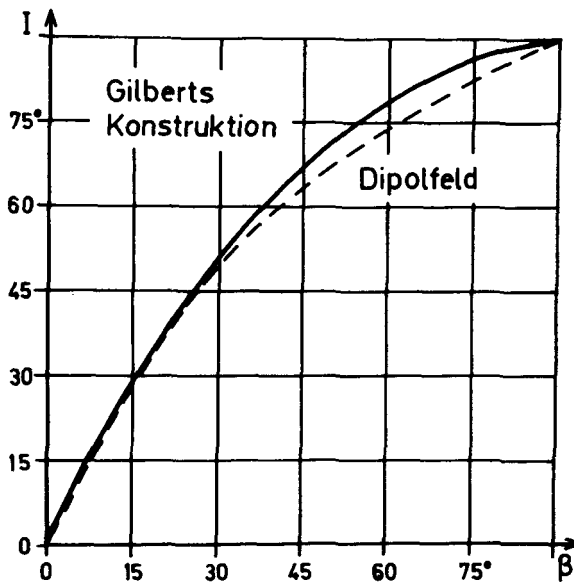


Fig. 6:
Inklination I als Funktion der Breite β nach Gilberts Konstruktion
und nach heutiger Theorie für das Dipolfeld.

der Erdmagnetismus nicht vom Sternhimmel, sondern aus dem Innern der Erde stamme. Goethe beschrieb diese Zeit früher naturwissenschaftlicher Entdeckungen in seiner „Geschichte der Farbenlehre“ so: „Die Welt ist kaum durch Entdeckungen neuer Länder unmäßig in die Länge ausgedehnt; so muß sie sich schon in sich selbst als rund abschließen. Kaum deutet die Magnetnadel nach entschiednen Weltgegenden, so beobachtet man, daß sie sich ebenso entschieden zur Erde nieder neigt.“ [Goethe, 1981, Bd. 14, S. 80]

2. Anziehung als Funktion der Breite

Gilbert unterscheidet beim Magneten zwischen seiner Richt- und seiner Anziehungskraft. Beide wirken nur auf Magnetē oder magnetisierbare Körper, z. B. Eisenstücke. Die Richtkraft, lat. *verticitas*, bewirkt ein Drehmoment. (So wird die im vorigen Abschnitt besprochene Inklination von der Richtkraft der Magnetnadel hervorgerufen.) Die Wirkung der Anziehungskraft nennt Gilbert *coitio* (= Vereinigung) *magnetica* und nicht *attractio* (= Anziehung) *magnetica*, „da bei magnetischen Körpern nicht nur der eine den anderen anzieht, sondern beide mitwirken und zusammenstreben“ (De Magnete, Fachworterklärung am Anfang). Hier wollen wir, wenn es der Text nicht vorschreibt, das gebräuchlichere deutsche Wort Anziehung verwenden.

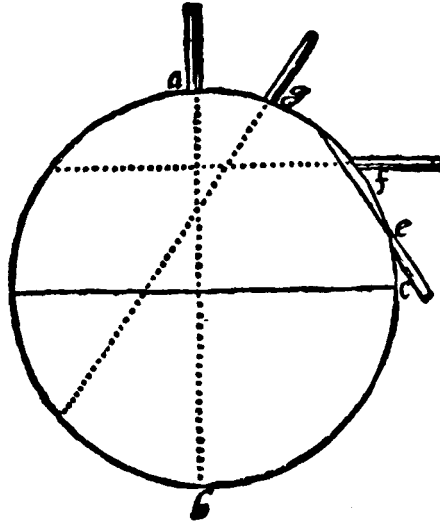


Fig. 7:

*Gilberts Illustration zur Erklärung der Breitenabhängigkeit der Anziehung.
ab ist die magnetische Achse (De Magnete II,14).*

Auch die Anziehung hängt von der Breite ab. Sie ist an den Polen am stärksten und verschwindet am Äquator. Mit Fig. 7 gibt Gilbert eine „theoretische“ Deutung hierfür: „In jenen Teilen, die von den Polen weiter entfernt sind, zieht der Magnet die magnetischen Dinge nicht unmittelbar an sich, sondern sie neigen seitwärts und streben weg. Wie sich nämlich die kleinen Sehnen in einem Kreis vom Durchmesser unterscheiden, so sehr unterscheiden sich die Anziehungskräfte untereinander an verschiedenen Teilen der Terrella. Denn da die Anziehung eine Vereinigung mit einem Körper ist, die Magnete aber mit ihrer wechselnden Natur zusammenfließen, so kommt es, daß im Durchmesser, der von Pol zu Pol verläuft, die Körper direkt angezogen werden, aber an anderen Orten weniger direkt. Je weniger der Magnet auf den Körper gerichtet ist, umso weniger und umso schwächer nähert er sich und zieht an. Es ist gerade, wie wenn ab die Pole darstellen und ein Eisenstab oder ein magnetischer Teil c vom Teil e angezogen wird, dann richtet sich das erfaßte Ende nicht gegen das Zentrum des Magneten, sondern neigt sich schräg gegen den Pol. Eine Sehne von diesem Ende aus in der Verlängerung des angezogenen Körpers ist jedoch kurz. Sie hat deshalb weniger Kraft und entsprechend geringere Neigung. Da nun eine größere Sehne vom Körper f ausgeht, so ist seine Anziehung stärker; bei g ist die Sehne noch länger, am längsten bei a, dem Pol (denn der Durchmesser ist der größte Abstand), zu dem alle Teile von allen Seiten her Hilfe bringen, wo die Burg und das Gericht gleichsam für die ganze Gegend errichtet werden, nicht aus eigenem Verdienst, sondern weil eine Kraft in ihnen liegt, die aus allen Teilen zuströmt, wie alle

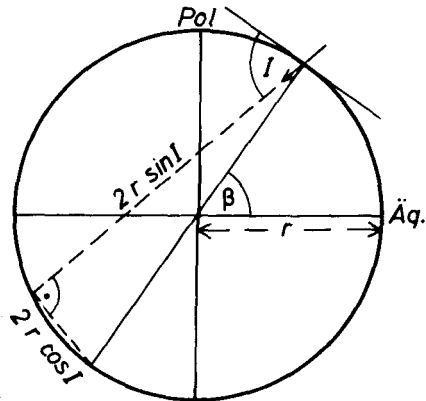


Fig. 8:

Zur analytischen Erfassung von Gilberts Anziehungsgesetz.
Die Länge der Sehne ist proportional zu $\sin I$.

Soldaten ihrem Kommandanten Hilfe bringen.“ (II,14 Übersetzung bei Sambursky [1978, S. 263–264])

Hieraus kann man leicht ein quantitatives Gesetz für das von Gilbert vermutete Anziehungsgesetz $G(\beta)$ ableiten; denn nach Fig. 8 ist die Länge der Sehne proportional zu $\sin I$. Deshalb gilt

$$G(\beta) = G_p \sin I \quad G_p = \text{Anziehung am Pol} \quad (3)$$

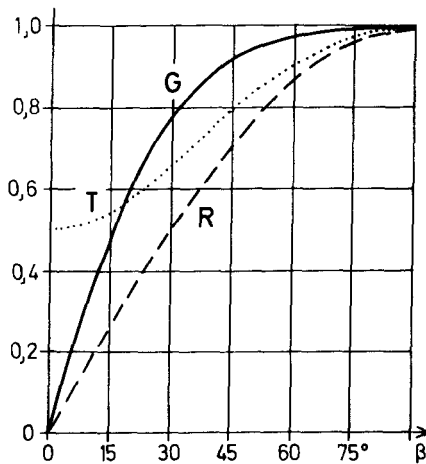


Fig. 9:

Das von Gilbert vermutete Anziehungsgesetz $G(\beta)$. Zum Vergleich:
Radialkomponente $R(\beta)$ und Totalintensität $T(\beta)$ des Dipolfeldes.

Tabelle:

Inklinationswerte nach Gilberts Nomogramm I_G und für das Dipolfeld I_D und Vergleichswerte für die Anziehungsgesetze (4), (5) und (6).

β	I_G	I_D	$\sin I_G$	$\sin I_D$	$\sin \beta$	$T(\beta)/T_p$
0°	0°	0°	0	0	0	0,50
10	20,2	19,4	0,35	0,33	0,17	0,52
20	37,1	36,1	0,60	0,59	0,34	0,58
30	51,2	49,1	0,78	0,76	0,50	0,66
40	62,7	59,2	0,89	0,86	0,64	0,75
45	67,5	63,4	0,92	0,89	0,71	0,79
50	71,8	67,2	0,95	0,92	0,77	0,83
60	78,9	73,9	0,98	0,96	0,87	0,90
70	84,1	79,2	0,99	0,98	0,94	0,96
80	87,7	85,0	1,00	1,00	0,98	0,99
90	90,0	90,0	1,00	1,00	1,00	1,00

Die mit den Gilbertschen Inklinationswerten I_G berechnete Funktion $G(\beta)$ ist in Fig. 9 eingetragen. (Rechnet man mit den „richtigen“ Inklinationswerten I_D des Dipolfeldes, so ergeben sich im mittleren Breitenbereich geringfügig kleinere Werte für G , siehe Tabelle). Die „Anziehung“ ist keine nur vom Felde bestimmte Größe, da sie von der Größe und Form des anzuziehenden Körpers abhängt. Wenn man $G(\beta)$ mit dem Feld homogen magnetisierter Kugeln vergleichen will, so könnte man an die Radialkomponente R des Dipolfeldes denken, weil die **Anziehung** in radialer Richtung verläuft. Für R gilt auf der Kugelfläche

$$R(\beta) = R_p \sin \beta \quad R_p = \text{Radialkomp. am Pol} \quad (4)$$

Unter **Anziehung** könnte man aber auch an die Totalintensität T des Dipolfeldes denken. Dafür gilt auf der Kugelfläche

$$T(\beta) = T_p \frac{1}{2} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \beta} \quad T_p = \text{Totalint. am Pol} \quad (5)$$

$R(\beta)$ und $T(\beta)$ sind in Fig. 9 zum Vergleich eingetragen. In der Nähe des Äquators liegt G zwischen R und T . Für $30^\circ < \beta < 80^\circ$ ist G viel zu groß. Nur in der Nachbarschaft des Pols stimmen alle drei Werte (definitionsgemäß) überein. Gilberts „Theorie“ ist vom Standpunkt neuzeitlicher Physik aus gesehen nur eine Plausibilitätsbetrachtung, und zwar eine wenig erfolgreiche. Aber auch hier war Gilbert der erste, der nach einem quantitativen Zusammenhang suchte und der ein erstes Näherungsgesetz vorschlug.

3. Abstandsgesetze

Aus seinen Versuchen schloß Gilbert auf eine Fernwirkung des Magnetismus. Er erinnert an die Analogie zur Ausbreitung des Lichtes. Die magnetische Wirkung sei der Lichtausbreitung insofern aber überlegen, daß sie durch dichte oder undurchsichtige Körper nicht behindert werde, sondern ihre Kraft nach allen Richtungen ausbreite. Deshalb erstreckt sich die Wirkung einer Magnetkugel auf einen kugelförmigen Bereich, dessen Mittelpunkt der Mittelpunkt der Magnetkugel ist. Diese Einflußsphäre nennt Gilbert den *orbis virtutis*. Er ist in Fig. 1 eingezeichnet. Befinden sich Magneten innerhalb des *orbis virtutis*, so werden sie in die durch die Magnetkugel bestimmte Richtung gedreht, befinden sie sich außerhalb, so bleiben sie unbeeinflußt.

Die Einflußsphäre spielt eine wichtige Rolle in Gilberts Physik. Sie ist nicht Gilberts Entdeckung, sondern hatte zu seiner Zeit schon eine lange Tradition. F. Krafft bracht sie [1970] in den Zusammenhang mit der *Sphaera activitatis*. In dieser grundlegenden Untersuchung analysierte Krafft diesen Begriff und zeigte seine geschichtliche Entwicklung auf. Er stellte vier Eigenschaften heraus, die dem Begriff eigentümlich sind: 1) Die Sphäre gilt nicht für alle darin befindlichen Dinge, sondern nur für solche, die für die betrachtete Aktivität empfänglich sind. 2) Dinge, die nicht empfänglich sind, behindern die Ausbreitung nicht. 3) Deshalb handelt es sich um eine Wirkung in die Ferne. 4) Alles, was sich außerhalb der Sphäre befindet, bleibt unbeeinflußt, auch wenn es an sich empfänglich ist. – Es wird keine Aussage gemacht über eine Änderung der Aktivität innerhalb der Sphäre. In vielen Fällen wird sie vom Zentrum nach außen hin abnehmen. Das ist aber nicht zwingend. – Krafft ging in seinem Aufsatz der geschichtlichen Entwicklung bis auf Gilbert (Peregrinus de Maricourt, Norman, Porta) und über Gilbert hinaus (Kepler, Kircher, v. Guericke, Newton) nach. Wir wollen uns hier auf Gilbert beschränken und der Intention der Arbeit

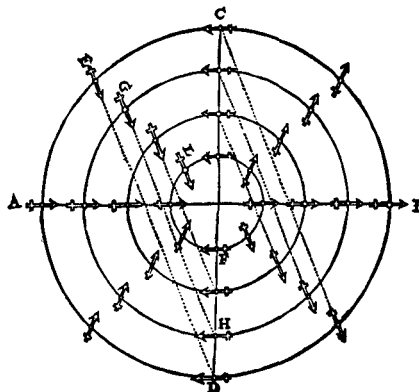


Fig. 10:

Magnetfeldrichtungen im Raum um eine Magnetkugel (durch L und F) innerhalb der Einflußsphäre (De Magnete V,11).

entsprechend das durch den orbis virtutis postulierte Abstandsgesetz mit dem Abstandsgesetz des Dipolfeldes vergleichen.

Gilbert unterscheidet zwischen dem orbis virtutis für die Richtkraft (entdeckt von Norman) und dem orbis coitionis für die Anziehung (entdeckt von Giambattista Porta 1538–1615). Wir wollen die beiden nacheinander behandeln. Gilbert weiß, daß der Drehwinkel nur von der Richtung (Breite) und nicht vom Abstand vom Zentrum abhängt: Fig. 10. Duane Roller hat [1959] auf die geschichtliche Bedeutung dieses Bildes aufmerksam gemacht. Es ist die aufregendste Figur in Gilberts Werk. Der innerste Kreis stellt eine Magnetkugel dar. Die darauf liegenden Pfeile zeigen die bekannten Richtungen, insbesondere weist die Magnetnadel in L wieder zum Äquatorpunkt F. Wenn man die Magnetnadel in größeren Kreisen um die Magnetkugel herumführt, so gehören zu allen Punkten unter gleicher Breite gleiche Inklinationsrichtungen, z. B. von G nach H und von E nach D, obwohl sich dort gar keine anziehende Materie befindet. Nach Gilbert „betrachtet die Magnetnadel ihre eigene Kugel, auf der sie plaziert ist, nicht die der Terrella“ (V,11). Wie nahe schien er da schon an dem Feldbegriff zu sein, doch dauerte es noch fast 250 Jahre, bis Faraday das Feld in die Physik einführte!

Gilbert hält die Wirkung der Richtkraft für beschränkt auf den orbis virtutis. Im Dipolfeld reicht sie bis ins Unendliche und ihre Wirkung, der Inklinationswinkel, ändert sich mit der Entfernung vom Zentrum nicht. Im Experiment begrenzen jedoch die Reibung der Inklinationsnadel und magnetische Störfelder die Beobachtbarkeit der Drehung. Diese Größen bestimmen den Radius des orbis virtutis.

Auch die Anziehung eines Magneten ist nach Gilbert beschränkt. Hierzu gehört aber ein anderer Kreis, der orbis coitionis. In II,23 heißt es, der orbis virtutis sei größer als der orbis coitionis. Im Dipolfeld fällt die Anziehung eines (nicht zu kurzen) Probenmagneten wie $1/r^3$ ab (r = Abstand vom Mittelpunkt der Magnetkugel). Für große r wird deshalb die Anziehung sehr klein. Eine solche Verteilung kann man annähern durch ein Feld, welches für $r > r_c$ verschwindet. r_c wäre dann der Radius des orbis coitionis. Im Gegensatz zum Inklinationswinkel im orbis virtutis klingt die Anziehung innerhalb des orbis coitionis von der Oberfläche der Magnetkugel nach außen ab. Orbis virtutis und orbis coitionis sind deshalb nicht nur in ihrer Größe, sondern auch in ihrer inneren Struktur verschieden. Beide lassen sich auffassen als erster Schritt auf dem Wege zu einem quantitativen Abstandsgesetz.

Schluß

Wie wir sehen, beschränkte sich Gilbert keineswegs auf seine experimentellen Untersuchungen. Er entwickelte mathematische Gesetze – wenn auch ohne Formeln – für Inklination und Anziehung als Funktion der Breite und Entfernung. Wir erkannten diese als Näherungswerte für die „richtigen“ Werte des Dipolfeldes. Gilberts Herleitungen waren jedoch noch sehr verschieden von der auf Galileis und Newtons Arbeiten beruhenden physikalischen Theorie. Es verging noch eine lange

Zeit, bevor diese Art physikalischer Theorie auf den Magnetismus angewandt werden konnte.

Literatur

- BALMER, Heinz: Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus. Aarau 1956.
- GILBERT, William: De Magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; physiologia nova plurimis et argumentis, et experimentis demonstrata. 1. Ausg. London 1600. 2. Ausg. Stettin 1628. 3. Ausg. Stettin 1633. – Die Herzog-August-Bibliothek in Wolfenbüttel besitzt Exemplare aller drei Ausgaben.
- Goethes Werke. Hamburger Ausgabe in 14 Bänden, hrsg. von Erich Trunz. 12. Aufl. München 1981.
- KIRCHER, Athanasius: Magnes sive de arte magnetica opus tripartitum. 3. Aufl. Rom 1654.
- KRAFFT, Fritz: Sphaera activitatis – orbis virtutis. Das Entstehen der Vorstellung von Zentralkräften. Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin **54**, 113–140, 1970.
- NORMAN, Robert: The neue Attractiue. London 1581. Abgedruckt in Hellmann, G., Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, Nr. **10**, 83–105, Berlin 1898. – Deutsche Übersetzung: Balmer [1956, S. 316–340].
- ROLLER, Duane H.D.: The De Magnete of William Gilbert. Amsterdam 1959.
- SAMBURSKY, Shmuel: Der Weg der Physik. DTV München 1978.
- THOMSON, S.P.: Notes on the De Magnete of Dr. William Gilbert. Anhang zur englischen Übersetzung: Gilbert, William, On the magnet ... Chiswick Press London 1900.
- ZILSEL, Edgar: Die Ursprünge der wissenschaftlichen Methode William Gilberts. – Erschien original englisch in J. History of Ideas **2**, 1–32, 1941. – Übersetzt und abgedruckt in Zilsel, E., Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft. Hrsg. von W. Krohn. Suhrkamp stw **152**, Frankfurt 1976.